Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 18, No. 3, Fall. 2020, p. 267-278

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۸، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص. ۲۷۸-۲۶۷

مقاله علمی-پژوهشی

اثر محلول‌پاشی نانو کلات‌های آهن و روی بر عملکرد و اجزای عملکرد سیاه‌دانه

سیده حکیمه داودی[1*]، عباس بیابانی[2]، علی راحمی کاریزکی[3]، سید علی محمد مدرس ثانوی[4]، ابراهیم غلامعلی‌پور علمداری[5]، مهدی زارعی[6]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۱۷

چکیده

به‌منظور بررسی اثر محلول‌پاشی کلات‌های آهن و روی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی سیاه‌دانه آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۸-۹۷ و دو مکان (مزرعه تحقیقاتی دانشگاه گنبد کاووس و مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس تهران) انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل محلول‌پاشی دو شکل آهن (نانو کلات آهن ۱/۵ در هزار، نانو کلات آهن ۴ در هزار و کلات آهن ۳ در هزار) و روی (نانو کلات روی در دو سطح ۱/۵ و ۳ در هزار و کلات روی ۳ در هزار) بودند. تیمارها در دو مرحله ۱۰-۸ برگی و در زمان پر شدن کپسول‌ها به‌کار برده شد. نتایج نشان داد که ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، قطر کپسول، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت برای هر دو منطقه به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر نانو کلات‌ها قرار گرفت. غلظت ۴ در هزار نانو کلات آهن و ۳ در هزار نانو کلات روی باعث بیش‌ترین افزایش در عملکرد دانه (۲۱۷/۴۴ گرم در متر مربع در منطقه گنبد و ۲۸۸/۶۶ گرم در متر مربع در منطقه تهران)، عملکرد بیولوژیک (۵۸۲ گرم در متر مربع در گنبد و ۳۵۲/۹۳ گرم در متر مربع در تهران) و شاخص برداشت (۳۷/۴۳ درصد در گنبد و ۷۶/۴۶ درصد در منطقه تهران) شد. بر اساس نتایج حاصل و با توجه به ویژگی‌های مختلف اندازه‌گیری شده، کاربرد آهن و روی به فرم نانو حتی در غلظت‌های پایین اثر مثبتی بر عملکرد کمی سیاه‌دانه خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: اجزای عملکرد، عناصر ریز مغذی، گیاه دارویی، نانو کلات

مقدمه

سیاه‌دانه یا شونیز با نام علمی (*Nigella sativa* L.) از خانواده آلاله یا Ranunculaceae می‌باشد. این گیاهی دارویی، یک‌ساله، دو لپه، علفی با ساقه‌های ایستاده به ارتفاع ۶۰ تا ۷۰ سانتی‌متر است (Yarnell and Abascal, 2011). سیاه‌دانه به کمبود عناصر کم‌مصرف از جمله آهن و خاک‌های ضعیف حساس است و به‌سرعت زرد می‌شود، همچنین به شوری خاک حساس بوده و گرمای شدید را نمی‌پسندد (Davazdah Emami and Majnoon Hoseini, 2003). علاوه بر خاصیت ضدباکتریایی روغن دانه‌های سیاه دانه، از این گیاه در درمان سرطان، فشارخون، بیماری‌های قلبی-عروقی و غیره استفاده می‌شود (Khoramdel *et al*., 2009). یکی از نیازهای مهم در برنامه‌ریزی زراعی به‌منظور حصول عملکرد بالا و با کیفیت مطلوب، ارزیابی سیستم‌های مختلف تغذیه گیاه است (Seyed Jamali *et al*., 2014). آهن، یکی از عناصر غذایی کم‌مصرف است که در تشکیل سبزینه گیاهان زراعی و باغی نقش ارزنده‌ای (Rout and Sahoo, 2015). روی یکی از عناصر ضروری برای رشد گیاه است و آثار عمیقی در متابولیسم عادی گیاه دارد و به‌طور کلی متابولیسم کربوهیدرات‌ها، پروتئین، اکسین و فرآیندهای زایشی تحت تاثیر شدید کمبود روی قرار می‌گیرند (Hafez *et al*., 2015). از آن‌جایی‌که بسیاری از خاک‌ها به‌خصوص در ایران دارای pH قلیایی می‌باشند و نمی‌توانند عناصر مهم کم‌مصرف را در خود به‌صورت محلول نگهداری کنند، استفاده از ساختارهایی که بتواند این مشکل را حل کند بسیار ضروری است. فرم کلات یک عنصر فرمی حفاظت شده است و سایر عناصر نمی‌توانند مزاحمتی در جذب یک عنصر کلات شده ایجاد کنند. فرآورده‌های نانو شامل مخلوطی از ذره‌های با ابعاد بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر هستند که می‌توانند خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مواد اولیه خود را تغییر دهند (Monica and Cremonini,

۱- دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس
۲- دانشیار، دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس
۳- استادیار، دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس
۴- دانشیار، دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه تولیدات گیاهی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
۵- استادیار، دکتری علوم گیاهی اکوفیزیولوژی علف‌های هرز، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس
۶- استادیار، دکتری باغبانی، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس
(*- نویسنده مسئول: Email: davoodi.f@yahoo.com)
DOI: 10.22067/gsc.v18i3.85072

(2009. استفاده از نانو کود کم‌مصرف موجب افزایش صفات کمی و کیفی در رازیانه (*Foeniculum vulgare*) شده است (Abdelkader *et al*., 2019). بیشترین خصوصیات عملکردی در گیاهان تیمار شده با نانو کودهای آهن، روی و منگنز مشاهده گردیده است-El) (Metwally *et al*., 2018. افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گندم (*Triticum*) با استفاده از نانو کودهای کم‌مصرف گزارش شده است (Al-Juthery *et al*., 2018). ترکیب سه‌گانه نانو کلات‌های آهن، روی و مس بر ارتفاع گیاه گندم، طول سنبله و عملکرد آن اثر مثبت و معنی‌داری داشته است (Hayyawi *et al*., 2018). اهمیت استفاده از نانو کودها در جهت افزایش عملکرد کمی و روغن در گیاه رازیانه گزارش شده است (Abdelkader *et al*., 2019). استفاده از نانو کودهای آهن، روی و منگنز عملکرد و اجزای عملکرد در ذرت (*Zea mays*) را افزایش داده است (Gomaa *et al*., 2020). اقدسی و همکاران (Aghdasi *et al*., 2018) تعداد شاخه فرعی بیشتری در گیاهان تیمار شده با نانو کلات آهن و روی نسبت به شاهد گزارش دادند.

استفاده مطلوب، منطقی و بهینه از منابع گیاهان دارویی که به لحاظ فناوری بسیار کم هزینه‌تر و ساده‌تر از صنایع دارویی شیمیایی است، می‌تواند ضمن تأمین بخشی از نیازهای عمده بهداشتی و درمانی جامعه از خروج مقادیر متنابه ارز جلوگیری نموده و مانع گسترش وابستگی به بیگانگان شود. تأمین آهن و روی به‌عنوان ریز مغذی‌های مورد نیاز سیاه‌دانه، نقش مهمی در بهبود کمی و کیفی محصول این گیاه دارد. گزارش‌های پراکنده‌ای در مورد اثر عناصر آهن و روی در افزایش عملکرد سیاه‌دانه وجود دارد، اما مطالعه‌ای در مورد اثر این دو عنصر به‌صورت همزمان و فرم‌های متفاوت در این دو منطقه با توجه به کمبود این عناصر در این مناطق صورت نگرفته است. هدف از تحقیق حاضر، بررسی اثر کلات‌های آهن و روی به فرم‌های نانو و معمول بر عملکرد و برخی خصوصیات کمی گیاه دارویی سیاه‌دانه در دو مکان بود.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس با متوسط بارندگی سالیانه ۴۲۸ میلی‌متر و ارتفاع ۴۵ متر از سطح دریا و مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس تهران با متوسط بارندگی سالیانه ۲۴۲ میلی‌متر و ۱۲۱۵ متر ارتفاع از سطح دریا انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل شاهد (محلول‌پاشی با آب خالص)، محلول‌پاشی عنصر غذایی آهن (نانو کلات‌های آهن در دو سطح ۱/۵ و ۴ در هزار و کلات آهن ۳ در هزار) و محلول‌پاشی عنصر غذایی روی (نانو کلات روی در دو سطح ۱/۵و ۳ در هزار و کلات روی ۳ در هزار) که به‌صورت محلول‌پاشی به تفکیک اعمال شدند. محلول‌پاشی در دو مرحله ۱۰-۸ برگی و در زمان پر شدن کپسول‌ها صورت گرفت. بذر سیاه‌دانه توده بومی و از شرکت پاکان بذر اصفهان و کودهای کلات و نانو کلات از شرکت خضرا خریداری شد. نانو کودهای کلاته مورد استفاده در این تحقیق از شرکت دانش بنیان صدور احرار شرق (خضرا) تهیه شدند. این نانو کودها بر اساس فناوری کلات‌های پیشرفته که به‌عنوان یک اختراع جدید در اداره ثبت اختراعات ایران، آمریکا و اتحادیه اروپا به ثبت رسیده است تولید می‌شوند. روش به‌کار رفته در سنتز این کودها در واقع مبتنی بر روش خودچینی (-self assemble) است که بهترین روش تولید انبوه در محصولات نانویی می‌باشد. این نانو کودهای کلاته فاقد بنیان‌های هورمونی بوده و بر اساس تمایل عنصری به گروه‌های عاملی ارگانیک اسید خودچینی می‌شوند و به همین دلیل ساختارهایی بسیار کارا شکل می‌دهند. اما کودهای کلات آهن و روی که به‌عنوان کنترل مثبت در این بررسی استفاده شده‌اند دارای بنیان اتیلنی (EDTA) هستند که بیش از ۳۰ سال از مصرف آن‌ها در صنعت کشاورزی می‌گذرد و محدودیت‌های آن‌ها آلودگی‌های زیست‌محیطی، جذب محدود و غیره) در متون مختلف بررسی شده است؛ اطلاعات از شرکت خضرا می‌باشد. قبل از آزمایش خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه‌های آزمایشی بررسی گردید (جدول ۱). آماده‌سازی زمین در دی ماه انجام شد. بدین ترتیب که ابتدا زمین مورد نظر را شخم عمیق و سپس دیسک زده، سپس با استفاده از لولر تسطیح شد. کرت‌های آزمایشی دارای دو متر عرض شامل چهار ردیف ۵۰ سانتی‌متری و طول هر کرت ۶ متر و فاصله بین بوته‌ها از هم ۵ سانتی‌متر بود. عملیات کاشت در گنبد کاووس در ۱۵ بهمن ماه و در تهران در ۱۵ اسفند ماه صورت گرفت. پس از جوانه زدن و سبز شدن در مرحله ۴ تا ۶ برگی تنک کردن نهایی تا حد رسیدن به فاصله مورد نظر بین بوته‌ها (۵ سانتی‌متر) انجام شد. عملیات مبارزه با آفات و بیماری‌ها و کنترل علف‌های هرز نیز همزمان در تمام کرت‌های آزمایشی در طی مرحله رشد و نمو گیاه انجام شد و آبیاری نیز به‌صورت سطحی انجام شد. جهت ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد ابتدا رهاسازی خطوط حاشیه صورت گرفت. در زمان رسیدگی فیزیولوژیکی از هر واحد آزمایشی ۱۰ بوته به‌صورت تصادفی انتخاب و ارتفاع هر بوته از پایین‌ترین قسمت (سطح خاک) تا بالاترین قسمت رشد گیاه با استفاده از یک خط‌کش بلند به‌دقت یک میلی‌متر اندازه‌گیری و میانگین آن‌ها به‌عنوان ارتفاع تیمار منظور گردید. شاخه‌های فرعی ۲۰ بوته شمارش و میانگین آن‌ها محاسبه شد. برای اندازه‌گیری تعداد کپسول در بوته، ۲۰ بوته شمارش و میانگین آن‌ها محاسبه گردید. برای اندازه‌گیری تعداد دانه در کپسول، از هر بوته به‌طور تصادفی ۵ کپسول برداشت شد (در مجموع ۵۰ عدد کپسول) و از این تعداد ۲۰ کپسول به‌طور تصادفی انتخاب و میانگین

۲۰ کپسول به‌عنوان تعداد دانه در کپسول منظور گردید. برای اندازه‌گیری قطر از هر بوته ۱۰ کپسول جدا شد سپس با استفاده از کولیس دیجیتالی قطر اندازه‌گیری و میانگین آن‌ها به‌عنوان صفت قطر بر حسب میلی‌متر برای هر واحد آزمایشی محاسبه شد. پس از رسیدگی فیزیولوژیک بوته‌ها، دو ردیف کناری و نیم‌متر از ابتدا و انتهای هر کرت به‌عنوان اثر حاشیه‌ای حذف و مابقی بوته‌ها برداشت شد. پس از خشک شدن در مقابل آفتاب، با ترازوی دقیق وزن کل بوته‌ها هر کرت در متر مربع و به‌عنوان عملکرد بیولوژیک منظور گردید. سپس کپسول‌های بوته‌ها مورد نظر در سطح برداشتی کوبیده شد و دانه‌های به‌دست آمده با ترازوی دقیق توزین و عملکرد دانه در متر مربع ثبت گردید. شاخص برداشت محصول نیز با استفاده از رابطه (۱) مورد اندازه‌گیری قرار گرفت، که در آن: HI: شاخص برداشت، EY: عملکرد اقتصادی، BY: عملکرد بیولوژیک است.

$$HI=(EY/BY).100 \qquad (۱)$$

تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS Ver 9.3 و مقایسه میانگین داده‌ها توسط آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. نمودارها با کمک نرم‌افزار Excel رسم شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی- شیمیایی خاک مزرعه‌های آزمایشی (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر)

Table 1- Physical-chemical properties of soil of experimental farms (0-30 cm)

مکان Location	اسیدیته کل اشباع pH	درصد لای Silt%	درصد رس Clay%	بافت خاک Text ure	درصد کربن آلی OC%	درصد نیتروژن کل N%	فسفر (P) $mg.kg^{-1}$	پتاسیم (K) $mg.kg^{-1}$	آهن (Fe) $mg.kg^{-1}$	منگنز (Mn) $mg.kg^{-1}$	روی (Zn) $mg.kg^{-1}$
تهران Tehran	7.7	30	9	لومی شنی Sandy loam	1.34	0.134	18	341	3.67	6.9	1.06
گنبد کاووس Goonbad-kavous	7.6	56	31	لوم رسی- سیلتی Clay loam–Sity	0.78	0.08	13	340	2.80	16.0	0.60

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی محلول‌پاشی آهن و روی و اثر متقابل این فاکتورها برای هر دو مزرعه تحقیقاتی معنی‌دار شد (جدول ۲). برش‌دهی برهم‌کنش سطوح روی در هر سطح نانو کلات آهن ۱/۵ و ۴ در هزار در هر دو مزرعه و کلات آهن ۳ در هزار تنها برای مزرعه تهران بیان‌گر تاثیر معنی‌دار بر ارتفاع بوته بوده است (جدول ۴). ارتفاع بوته در هر دو سطوح نانو کلات آهن نسبت به کلات آهن در هر دو منطقه افزایش نشان داد و بیش‌ترین ارتفاع در تیمار نانو کلات آهن ۴ و نانو کلات روی ۳ در هزار (۷۹/۴۰ سانتی‌متر در گنبدکاووس و ۶۸ سانتی‌متر در تهران) مشاهده گردید (جدول ۶). این نتایج را می‌توان به سهولت در استفاده از مواد مغذی به شکل نانو و همچنین سرعت فتوسنتز اشاره کرد (Abdelkader *et al*., 2019). استفاده از کودهای نانو بیشترین ارتفاع را در گندم نسبت به گیاه بدون تیمار ثبت کرده است (Al-Juthery *et al*., 2018). علت افزایش ارتفاع گیاه را می‌توان به فراهمی بیش‌تر عناصر غذایی، نفوذ بیش‌تر و موثرتر این ذرات به شکل نانو در مقایسه با شکل معمول آن‌ها نسبت داد (Al-Juthery *et al*., 2018). استفاده از کود به فرم نانو موجب افزایش ارتفاع بوته ذرت شده است که این افزایش می‌تواند به‌دلیل نقش موثرتر محلول‌پاشی نانوذرات ریزمغذی بر رشد و تقسیم سلولی باشد (Gomaa *et al*., 2020). محققان با بررسی اثرات محلول‌پاشی نانو ذرات ریزمغذی بر گیاه رازیانه نتیجه گرفتند که محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی به شکل نانو ارتفاع بوته را افزایش داد (Abdelkader *et al*., 2019). بین تمام ترکیبات تیماری با شاهد به‌جز شاهد با کلات‌های آهن و روی اختلاف معنی‌دار وجود دارد (جدول ۷).

تعداد شاخه جانبی

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثرات اصلی و متقابل محلول‌پاشی در هر دو مزرعه تهران و مزرعه گنبد کاووس بر صفت تعداد شاخه جانبی معنی‌دار بود (جدول ۲). برش‌دهی اثر متقابل سطوح روی در هر سطح نانو کلات آهن ۱/۵ در هزار و ۴ در هزار بر این صفت معنی‌دار بود در صورتی‌که در سطح کلات آهن ۳ در هزار مزرعه تهران ارتباط معنی‌داری مشاهده نگردید (جدول ۴). با توجه به جدول ۶ بیش‌ترین تعداد شاخه فرعی در سطوح نانو کلات آهن و نانو کلات روی مشاهده گردید و در تیمار کلات آهن ۳ در هزار بین سطوح روی و تعداد شاخه فرعی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. بین دو مزرعه بیش‌ترین تعداد شاخه جانبی در گیاهان مزرعه گنبد کاووس (۱۲ شاخه جانبی) مشاهده گردید که با بیش‌تر بودن ارتفاع گیاهان در این مزرعه ارتباط دارد. در مزرعه گنبد کاووس بین شاهد با تمام ترکیبات تیماری اختلاف معنی‌داری مشاهده گردید در صورتی که در مزرعه تهران بین شاهد با ترکیبات تیماری که شامل کلات‌های آهن بود تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید (جدول ۷).

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر نانو کلات‌های آهن و روی بر برخی صفات عملکرد و اجزای عملکرد در گیاه سیاه‌دانه

Table 2- Analysis of variance of the effect of iron and zinc nano chelates on some yield traits and yield components in black seed

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f		میانگین مربعات MS				
			ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه جانبی Number of lateral branch	تعداد کپسول در بوته Number of pod per plant	تعداد دانه در کپسول Number ofseed per pod	وزن دانه در کپسول Seed weight per pod
R بلوک	1	Tehran تهران	1.61ns	0.50ns	0.50ns	22.49ns	.000022ns
		گنبد Goonbad	10.58ns	0.50ns	0.50ns	8.00ns	.00005ns
Fe آهن	2	Tehran تهران	1606.37**	26.70**	56.48**	341.63**	0.101**
		گنبد Goonbad	1546.60**	52.48**	70.03**	4250.81**	0.054**
Zn روی	2	Tehran تهران	602.03**	12.26**	30.48**	952.88**	0.0414**
		گنبد Goonbad	742.01**	23.37**	34.04**	1586.93**	0.0165**
Fe×Zn آهن×روی	4	Tehran تهران	76.88**	2.26**	1.70**	225.99**	0.015**
		گنبد Goonbad	84.36**	5.81**	3.48*	200.37**	0.004**
E خطا	17	Tehran تهران	10.23	0.41	0.363	17.42	0.00016
		گنبد Goonbad	8.07	0.13	0.794	8.03	0.00007
CV (%) ضریب تغییرات	-	Tehran تهران	7.4	12.0	4.9	6.6	7.4
		گنبد Goonbad	5.3	5.6	6.9	4.1	4.7

ns و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار و وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است.

** and ns are significant at 1% probability levels and non-significant, respectively

استفاده از نانو کودهای ریز مغذی بر تعداد شاخه‌های اولیه و فرعی نخود فرنگی اثر معنی‌داری نشان داد و تعداد شاخه‌ها توسط کود نانو تقویت شدند (Morovat *et al*., 2019). نتایج مشابهی دیگری (افزایش شاخه جانبی در رازیانه) نیز گزارش شده است و علت این افزایش را سهولت دسترسی به مواد غذایی یه شکل نانو توسط گیاه بیان کردند (Abdelkader *et al*., 2019). به‌نظر می‌رسد با مصرف کود به‌صورت نانو کلات، جذب و انتقال مواد فتوسنتزی و هورمون‌های تحریک‌کننده رشد به مریستم‌های جانبی افزایش می‌یابد و مجموعه این عوامل سبب افزایش تحریک مریستم‌های جانبی و افزایش تعداد ساقه‌های جانبی می‌گردد (Rameshraddy *et al*., 2019). محلول‌پاشی آهن و روی در نعناع شیرین (*Mentha spicata* L.) تحت تنش شوری موجب افزایش تعداد شاخه‌ها گردید (Aghdasi *et al*., 2018).

تعداد کپسول در بوته

طبق نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس داده‌ها اثرات اصلی محلول‌پاشی آهن و روی و همچنین اثر متقابل آن‌ها بر تعداد کپسول در بوته معنی‌دار بود (جدول ۲) و اثر متقابل بین تمام سطوح روی در هر سطح آهن مشاهده گردید (جدول ۴). بیش‌ترین تعداد کپسول (۱۸/۶۶) در تیمار نانو کلات آهن ۴ در هزار و نانو کلات روی ۳ در هزار در گیاهان مزرعه گنبد مشاهده شد (جدول ۶). محلول‌پاشی آهن و روی به‌دلیل افزایش ماندگاری گل و تبدیل آن به کپسول، از طریق افزایش آسمیلات‌ها، به‌واسطه نقشی که این عناصر در فتوسنتز دارند، موجب افزایش تعداد کپسول در بوته می‌گردد. نتایج حاصل از بررسی‌های دیگر نشان می‌دهد که تیمارهای محلول‌پاشی نانو کود کلاته آهن و روی بر تعداد غلاف در بوته اثر معنی‌داری داشته است (Baghae *et al*., 2011). حداکثر تعداد غلاف در تیمارهای کودهای نانو مشاده گردید که محلول‌پاشی نانو ریز مغذی‌ها به‌دلیل افزایش ماندگاری گل و تبدیل آن به غلاف، از طریق افزایش آسمیلات‌ها، به‌واسطه نقشی که این عناصر در فتوسنتز دارند، موجب افزایش تعداد غلاف در بوته می‌گردد (Morovat *et al*., 2019). بین تمام ترکیبات تیماری با شاهد اختلاف معنی‌دار وجود دارد (جدول ۷).

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر نانو کلات‌های آهن و روی بر برخی صفات عملکرد و اجزای عملکرد در گیاه سیاه‌دانه

Table 3- Analysis of variance of the effect of iron and zinc nano chelates on some yield traits and yield components in black seed

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f		میانگین مربعات MS					
			قطر کپسول Capsule diameter	وزن هزار دانه 1000-seed weight	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه در متر مربع Seed yield	عملکرد بیولوژیک در متر مربع Biological yeild	شاخص برداشت Harvest index
R بلوک	1	تهران Tehran	0.1609^{ns}	0.010^{ns}	0.076^{ns}	191.29^{ns}	2.57^{ns}	61.34^{ns}
		گنبد Goonbad	0.0027^{ns}	.046^{ns}	0.08^{ns}	159.61^{ns}	128.00^{ns}	11.36^{ns}
Fe آهن	2	تهران Tehran	23.97**	5.45**	28.92**	49915.14**	43430.94**	2776.20**
		گنبد Goonbad	35.76**	1.81**	54.29**	30712.86**	86899.49**	839.41**
Zn روی	2	تهران Tehran	3.27**	3.18**	13.83**	2404.45**	20553.87**	1457.43**
		گنبد Goonbad	9.06**	0.19*	14.27**	13356.33**	22839.86**	340.37**
Fe*Zn آهن*روی	4	تهران Tehran	0.321*	0.599**	3.33**	9102.71**	3684.45**	307.81**
		گنبد Goonbad	2.426**	0.183*	9.65**	3442.65**	15441.64**	23.44*
E خطا	17	تهران Tehran	0.102	0.054	0.223	188.57	261.84	40.48
		گنبد Goonbad	0.146	0.032	0.282	172.76	452.53	7.12
CV (%) ضریب تغییرات	-	تهران Tehran	6.4	9.4	8.1	14.6	7.0	18.5
		گنبد Goonbad	6.1	6.9	5.5	13.1	5.5	11.1

ns و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار و وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است.

** and ^{ns} are significant at 1% probability levels and non-significant, respectively

تعداد دانه در کپسول

جدول تجزیه واریانس نشان داد که تعداد دانه در کپسول هر دو مزرعه تحت تأثیر اثرات اصلی و اثرات متقابل ترکیبات تیماری قرار گرفته است (جدول ۲). در مزرعه گنبد بین تمام سطوح روی در هر سطح آهن و در مزرعه تهران نیز بین تمام سطوح روی در سطح آهن به‌جز سطح ۳ آهن اختلاف معنی‌داری وجود دارد (جدول ۴). بیش‌ترین مقدار عددی تعداد دانه در کپسول (۱۰۴/۳۳ در گنبد و ۹۷/۶۶ در تهران) در گیاهانی دیده شد که با نانو کلات‌های آهن و نانو کلات‌های روی تیمار گردیده بودند (جدول ۶). تغذیـه گیاه با روی و آهن به شکل نانو سبب ذخیره کربوهیدرات‌های دانه گرده و افـزایش طول عمر آن و در نتیجه، موجب افزایش گـرده‌افشـانی و در نهایـت باعث افزایش عملکـرد دانـه مـی‌شـود (Baghae *et al*., 2014). همچنین نتایج پژوهشی نشان داد کاربرد نانو کود آهن سبب افزایش تعداد دانه در ردیف ذرت گردید (Mohammad Khani and Roozbahani, 2015). نانو مواد در شرایط مورد نیاز گیاه به‌عنوان منبع آزادکننده عمل می‌کند که باعث بهبود راندمان استفاده از مواد مغذی می‌شود (Kopittke *et al*., 2019). بین تمام ترکیبات تیماری با شاهد در هر دو مزرعه تحقیقاتی اختلاف معنی‌داری وجود دارد (جدول ۷).

وزن دانه در کپسول و وزن هزار دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی محلول‌پاشی آهن و روی و اثر متقابل این فاکتورها در سطح احتمال ۵ درصد برای وزن دانه در کپسول (جدول ۲) و وزن هزار دانه (جدول ۳) معنی‌دار شد. برش‌دهی اثر متقابل سطوح روی در هر سطح آهن برای صفت وزن دانه اختلاف معنی‌دار نشان داد (جدول ۵). با توجه به جدول مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح روی در هر سطح آهن بیشترین وزن دانه در کپسول و وزن هزار دانه مربوط به نانو کلات آهن ۴ در هزار و کمترین آن مربوط به کلات آهن ۳ در هزار بود (جدول ۶). وزن دانه در بوته نشان داد بین تمام ترکیبات تیماری با شاهد به‌جز شاهد با نانو کلات‌های آهن و روی در مزرعه تهران، اختلاف معنی‌دار وجود دارد (جدول ۷) و برای وزن هزار دانه بین ترکیب نانو کلات‌های آهن و روی با شاهد در دو مزرعه اختلاف

معنی‌دار مشاهده نگردید (جدول ۸). در یک بررسی مشخص شد که محلول‌پاشی با عناصر غذایی کم‌مصرف آهن، روی و منگنز سبب افزایش وزن هزار دانه در مقایسه با تیمار شاهد شد (Baghaee *et al.*, 2011). روی نقش مهمی در متابولیسم گیاهان دارد که ممکن است با تاثیر بر عملکرد آنزیمی مانند آنهیدراز هیدروژناز و در نتیجه سنتز تثبیت کسری از ریبوزوم و سیتوکروم باعث افزایش انتقال ماده خشک گیاه به دانه‌ها و از این رو افزایش وزن دانه‌ها شود (Sher *et al.*, 2020). همچنین استفاده از نانو ریز مغذی‌ها باعث افزایش وزن ۱۰۰ دانه در ذرت شد (Gomaa *et al.*, 2020).

جدول ٤- تجزیه واریانس برش‌دهی اثر متقابل سطوح روی در سطوح مختلف آهن برای برخی صفات عملکرد و اجزای عملکرد

Table 4- Analysis of shear variance interaction of zinc surfaces at different iron levels for some yield traits and yield components

آهن Fe	روی Zn	درجه آزادی DF	مکان Location	مجموع مربعاتMS ارتفاع Plant height	تعداد شاخه جانبی Number of lateral branche	تعداد کپسول در بوته Number of pods per plant	تعداد دانه در کپسول Number ofseed per pods	وزن دانه در کپسول Seed weight per pods
Fe1 نانو کلات آهن ۱/۵ در هزار	Zn روی	2	تهران Tehran	90.22**	4.33**	12.00**	294.42**	0.0052**
			گنبد Goonbad	214.81**	4.12**	4.10**	648.11**	0.0046**
Fe2 نانو کلات آهن ۴ در هزار	Zn روی	2	تهران Tehran	577.83**	12.11**	16.44**	1094.15**	0.0654**
			گنبد Goonbad	625.99**	30.11**	30.09**	1258.16**	0.0199**
Fe3 کلات آهن ۳ در هزار	Zn روی	2	تهران Tehran	87.73**	0.03ns	14.69**	16.33ns	0.0554**
			گنبد Goonbad	70.63ns	0.77*	29.11**	81.44**	0.0195**

ns و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار و وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است.

** and ns are significant at 1% probability levels and non-significant, respectively

Fe1= nano chelated iron 1.5 per thousand, Fe2= nano chelated iron 4 per thousand, Fe3= chelated iron 3 per thousand

جدول ٥- تجزیه واریانس برش‌دهی اثر متقابل سطوح روی در سطوح مختلف آهن برای برخی صفات عملکرد و اجزای عملکرد

Table 5- Analysis of shear variance interaction of zinc surfaces at different iron levels for some yield traits and yield components

آهن Fe	Zn روی	درجه آزادی DF	مکان Location	مجموع مربعاتMS قطر کپسول Capsule diameter	وزن هزار دانه 1000-seed weight	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه در متر مربع Seed yield	عملکرد بیولوژیک در متر مربع Biological yield	شاخص برداشت Harvest index
Fe1 نانو کلات آهن ۱/۵ در هزار	Zn روی	2	Tehran تهران	1.805**	0.771**	4.361**	3498.62**	3977.14**	358.097**
			Goonbad گنبد	3.810**	0.013*	0.715**	2894.95**	1144.76**	134.110**
Fe2 نانو کلات آهن ۴ در هزار	Zn روی	2	Tehran تهران	1.905**	3.213**	12.673**	38537.91**	18606.19*	1657.028**
			Goonbad گنبد	10.086**	0.519**	32.49**	16996.82**	51979.75**	210.267*
Fe3 کلات آهن ۳ در هزار	Zn روی	2	Tehran تهران	0.203ns	0.368ns	1.44**	213.96**	2316.44*	57.09ns
			Goonbad گنبد	0.0174ns	0.018ns	0.38ns	349.92**	598.63ns	33.87**

ns و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار و وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است.

** and ns are significant at 1% probability levels and non-significant, respectively

Fe1= nano chelated iron 1.5 per thousand, Fe2= nano chelated iron 4 per thousand, Fe3= chelated iron 3 per thousand

جدول ٦- مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح روی در هر سطح آهن بر صفات عملکرد و اجزای عملکرد مورد بررسی

Table 6- Comparison of the average interaction effect of zinc levels on each iron level on yield traits and yield components studied

			میانگین مربعات MS										
		مکان Location	ارتفاع Plant Height (cm)	تعداد شاخه جانبی Number of lateral branche	تعداد کپسول در بوته Number of pods per plant	تعداد دانه در کپسول Number ofseed per pods	وزن دانه در کپسول Seed weight per pods (g)	قطر کپسول Capsule diameter (mm)	وزن هزار دانه 1000- seed weight (g)	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Seed yield (g.m^{-2})	عملکرد بیولوژیک Biological yield (g.m^{-2})	شاخص برداشت Harvest index (%)
کلات آهن ۱/۵ در هزار nano chelated iron 1.5 per thousand	Zn1 نانو کلات روی ۱/۵ در هزار	تهران Tehran	43.03^{b}	5^{b}	12.33^{b}	64.37^{b}	0.14^{b}	5.7^{b}	2.15^{b}	5.42	68.74^{b}	216.67^{b}	31.09^{b}
		گنبد Goonbad	51.60^{b}	6^{b}	13.00^{b}	70.33^{b}	0.20^{b}	6.8^{a}	2.89^{b}	9.27^{c}	105.73^{b}	370.93^{c}	28.47^{b}
	Zn2 نانو کلات روی ۳ در هزار	تهران Tehran	50.08^{a}	6.66^{a}	14.33^{b}	77.66^{a}	0.20^{a}	6.37^{a}	2.93^{a}	7.11^{a}	114.8^{a}	284.4^{a}	46.4^{a}
		گنبد Goonbad	64.16^{a}	7.00^{a}	14.33^{a}	89.00^{a}	0.26^{a}	7.42^{a}	2.88^{b}	20.25^{a}	147.2^{a}	410.0^{a}	35.9^{a}
	Zn3 کلات روی ۳ در هزار	تهران Tehran	39.28^{c}	4.33^{b}	10.33^{a}	58.29^{b}	0.12^{b}	4.82^{c}	2^{c}	4.78^{b}	48.09^{c}	191.07^{b}	25.16^{c}
		گنبد Goonbad	48.06^{b}	4.65^{c}	12.00^{c}	60.00^{c}	0.18^{c}	5.23^{b}	3^{a}	9.77^{b}	86.40^{c}	390.8^{b}	22.10^{c}
نانو کلات آهن ۴در هزار nano chelated iron 4 per thousand	Zn1 نانو کلات روی ۱/۵ در هزار	تهران Tehran	58.33^{b}	7.23^{a}	14.33^{b}	82.00^{b}	0.31^{b}	6.31^{a}	3.74^{a}	8.82^{a}	175.53^{b}	352.93^{a}	49.85^{b}
		گنبد Goonbad	68.50^{b}	9.00^{b}	10.33^{b}	90.33^{b}	0.27^{a}	8.09^{b}	2.98^{a}	12.73^{b}	165.00^{a}	509.33^{b}	32.00^{a}
	Zn2 نانو کلات روی ۳ در هزار	تهران Tehran	68.00^{a}	9^{b}	17.00^{a}	97.66^{a}	.0.43^{a}	6.8^{a}	4.0^{a}	8.86^{a}	288.67^{a}	337.2^{a}	76.47^{a}
		گنبد Goonbad	79.40^{a}	12^{a}	17.67^{a}	104.33^{a}	0.29^{a}	9.9^{a}	2.8^{a}	14.55^{a}	217.44^{a}	582.0^{a}	37.43^{a}
	Zn3 کلات روی ۳ در هزار	تهران Tehran	40.63^{c}	5.00^{b}	12.3^{c}	59.67^{c}	0.13^{c}	5.2^{b}	2.10^{b}	5.23^{b}	61.99^{c}	209.30^{b}	20.60^{b}
		گنبد Goonbad	50.66^{c}	5.76^{c}	12.3^{b}	64.00^{c}	0.14^{b}	6.2^{c}	2.19^{b}	8.16^{c}	69.07^{b}	326.53^{c}	21.13^{b}
کلات آهن ۳ در هزار chelated iron 3 per thousand	Zn1 نانو کلات روی ۱/۵ در هزار	تهران Tehran	29.8^{a}	3.67^{a}	10.34^{a}	40.33^{ab}	0.08^{b}	4.24^{a}	1.89^{ab}	4.16^{ab}	31.27^{b}	166.7^{ab}	18.81^{ab}
		گنبد Goonbad	40.4^{ab}	4.00^{ab}	10.00^{a}	43.00^{b}	0.09^{ab}	4.13^{a}	2.09^{a}	7.13^{a}	36.00^{b}	285.2^{a}	12.63^{b}
	Zn2 نانو کلات روی ۳ در هزار	تهران Tehran	34^{a}	4.00^{a}	10.3^{a}	44.00^{a}	0.093^{a}	3.22^{a}	2.01^{a}	4.63^{a}	36.6^{a}	185.33^{a}	19.92^{a}
		گنبد Goonbad	44^{a}	4.65^{a}	11.3^{ab}	49.33^{b}	0.103^{a}	4.13^{a}	2.09^{a}	7.12^{a}	46.8^{a}	285.07^{a}	16.43^{a}
	Zn3 کلات روی ۳ در هزار	تهران Tehran	23.26^{b}	3.3^{a}	8.0^{b}	39.67^{b}	0.06^{c}	2.77^{a}	1.35^{b}	3.26^{b}	20.0^{c}	130.67^{b}	11.81^{b}
		گنبد Goonbad	34.56^{b}	3.7^{b}	8.3^{b}	39.00^{c}	0.08^{b}	4.01^{b}	1.96^{a}	6.51^{a}	25.2^{c}	260.67^{a}	9.73^{c}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون و برای هر جزء اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with different letters in a column and for each component are not significantly different based on Duncan's test $p \leq 0.05$

قطر کپسول

نتایج نشان داد فاکتور آهن، روی و اثر متقابل آن‌ها به‌طور بسیار معنی‌داری قطر کپسول در بوته را تحت تاثیر قرار داد (جدول ۳). اثر متقابل سطوح روی در هر سطح نانو کلات آهن ۱/۵ و ۴ در هزار برای هر دو مزرعه اثر معنی‌داری داشتند درصورتی که بین سطوح مختلف روی درسطح کلات آهن (سطح ۳ آهن) در مزرعه گنبد کاووس و تهران اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید (جدول ۵). بیش‌ترین قطر کپسول در گیاهان تیمار شده با نانو کلات آهن ۴ در هزار و در مزرعه گنبد مشاهده گردید (جدول ۶). مقایسات اورتوگونال در مزرعه گنبد نشان داد بین تمام ترکیبات تیماری با شاهد اختلاف معنی‌دار وجود دارد و در مزرعه تهران بین تمام ترکیبات تیماری با شاهد به‌جز شاهد با ترکیات حاوی کلات آهن اختلاف معنی‌دار وجود دارد (جدول ۸). افزایش قطر کپسول در برخی تیمارها بیانگر استفاده بهتر از شرایط محیطی ناشی از تغذیه مناسب می‌باشد. افزایش قطر کپسول طی محلول‌پاشی آهن، روی و کلسیم در سویا نیز گزارش شده است (Ahmadi *et al*., 2016).

عملکرد دانه

فاکتور آهن و روی و برهمکنش آن‌ها اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه در هر دو مزرعه تحقیقاتی داشتند (جدول ۳). برش‌دهی اثر متقابل سطوح روی در سطوح مختلف آهن اثر معنی‌داری را نشان دادند (جدول ۵). بیش‌ترین عملکرد دانه (۲۱۷/۴۷ گرم در متر مربع در گنبد و ۲۸۸/۶۷ گرم در متر مربع در تهران) در تیمار نانو کلات آهن ۴ در هزار مشاهده گردید (جدول ۶). نتایج مقایسات اورتوگونال اختلاف معنی‌دار بین شاهد با ترکیبات تیماری به‌جز ترکیب کلات آهن ۳ در هزار و کلات روی ۳ در هزار در هر دو مزرعه تحقیقاتی را نشان داد (جدول ۸). روی و آهن نقش مهمی در بیوسنتز IAA و به‌ویژه با توجه به نقش آن در شروع بخش تولید مثل اولیه و تقسیم فتوسنتزی نسبت به آن‌ها که باعث افزایش عملکرد می‌شود (Barua and Saikia, 2018). انجام محلول‌پاشی نانو کلات آهن و منگنز می‌تواند با تحریک رشد و تقسیم سلولی، دانه را به یک مخزن قوی مبدل ساخته و در نتیجه با پذیرفتن مواد فتوسنتزی بیشتر مقادیر ماده خشک بیشتری در دانه ماش ذخیره گردد (Izadi and Modares Sanavi, 2018).

جدول ۷- تجزیه واریانس مقایسات اورتوگونال تیمارهای آزمایش بر برخی صفات عملکرد و اجزای عملکرد

Table 7- Analysis of variance of orthogonal comparisons of experimental treatments on some yield traits and yield components

منابع تغییر S.O.V	مکان Location	درجه آزادی d.f	ارتفاع Plant height (cm)	تعداد شاخه جانبی Number of lateral branche	تعداد کپسول در بوته Number of pods per plant	تعداد دانه در کپسول Number ofseed per pods	وزن دانه در کپسول Seed weight per pods (g)
شاهد-fe1zn1	Tehran تهران	1	819.47**	6.00**	80.67**	1738.08**	0.014**
	Goonbad گنبد	1	636.54**	16.67**	96.00**	3128.17**	0.037**
شاهد-fe1zn2	Tehran تهران	1	1387.76**	20.16**	130.67**	3360.66**	0.037**
	Goonbad گنبد	1	16650.04**	28.16**	130.66**	6208.16**	0.066**
شاهد-fe1zn3	Tehran تهران	1	557.02**	2.67*	42.66**	1172.92*	0.0089**
	Goonbad گنبد	1	436.91**	6.00**	73.50**	1872.66**	0.0267**
شاهد-fe2zn1	Tehran تهران	1	2242.66**	28.16**	130.66**	4004.16**	0.104**
	Goonbad گنبد	1	1998.37**	60.17**	160.17**	6468.16**	0.075**
شاهد-fe2zn2	Tehran تهران	1	3504.16**	54.00**	216.00**	6800.66**	0.2169**
	Goonbad گنبد	1	3513.84**	130.66**	280.17**	9520.17**	0.0888**
شاهد-fe2zn3	Tehran تهران	1	659.40**	6.0**	80.66**	1290.67**	0.011**
	Goonbad گنبد	1	580.17**	13.5**	80.67**	2320.65**	0.013**
شاهد-fe3zn1	Tehran تهران	1	153.52**	0.67ns	42.66**	150.00*	0.002**
	Goonbad گنبد	1	132.54**	2.66**	37.50**	504.16**	0.003**
شاهد-fe3zn2	Tehran تهران	1	308.16**	1.5ns	42.67**	280.17**	0.0038**
	Goonbad گنبد	1	261.36**	6.0**	60.17**	912.67**	0.0049**
شاهد-fe3zn3	Tehran تهران	1	19.44ns	0.17ns	13.50**	130.66*	0.0004ns
	Goonbad گنبد	1	19.08ns	1.5**	16.67**	308.17**	0.0013**
شاهد-ترکیبات تیماری	Tehran تهران	1	1461.89**	15.17**	137.95**	2816.30**	0.0453**
	Goonbad گنبد	1	1354.30**	35.57**	164.89**	5000.90**	0.0474**

عملکرد بیولوژیک

تیمارهای آهن و روی و برهمکنش آن‌ها اثر معنی‌داری بر عملکرد بیولوژیک در هر دو مزرعه تحقیقاتی داشتند (جدول ۳). برش‌دهی اثر متقابل سطوح روی در سطوح مختلف آهن اثر معنی‌داری را به‌جز برای کلات آهن در مزرعه گنبد نشان دادند (جدول ۵). بیش‌ترین عملکرد بیولوژیک (۵۸۲ گرم در متر مربع) در تیمار نانو کلات آهن ۴ و نانو کلات روی ۳ در هزار در مزرعه گنبد مشاهده گردید (جدول ۶). افزایش ماده خشک تولیدی در گیاهان تحت شرایط تغذیه مطلوب به‌صورت نانو کلات‌ها می‌تواند به‌دلیل گسترش بیشتر سطح برگ و نیز دوام سطح برگ آن باشد که با ایجاد منبع فیزیولوژیکی کارآمد جهت استفاده هرچه بیشتر از نور دریافتی باعث افزایش تولید ماده خشک شده است (Izadi and Modares Sanavi, 2018). در یک تحقیق مشخص گردید که تیمارهای محلول‌پاشی با عناصر ریزمغذی به شکل نانو در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌دار عملکرد بیولوژیکی اسفرزه را افزایش یافت (Ramroudi *et al*., 2011). اختلاف معنی‌دار بین شاهد با ترکیبات تیماری (به‌غیر از شاهد با ترکیب کلات آهن ۳ در هزار و کلات روی ۳ در هزار) در هر دو مزرعه تحقیقاتی مشاهده گردید (جدول ۸).

جدول ۸- تجزیه واریانس مقایسات اورتوگونال تیمارهای آزمایش بر برخی صفات عملکرد و اجزای عملکرد

Table 8- Analysis of variance of orthogonal comparisons of experimental treatments on some yield traits and yield components

منابع تغییر S.O.V		درجه آزادی DF	قطر کپسول Capsule diameter (mm)	وزن هزار دانه 1000-seed weigh (g)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (g)	عملکرد دانه در متر مربع Seed yield $(g.m^{-2})$	عملکرد بیولوژیک در متر مربع Biological yield $(g.m^{-2})$	شاخص برداشت Harvest index (%)
fe1zn1-شاهد	Tehran تهران	1	9.70**	0.99**	11.34**	5426.43**	18150.00**	795.57**
	Goonbad گنبد	1	20.83**	1.49**	16.40**	13939.14**	26241.70**	905.28**
fe1zn2-شاهد	Tehran تهران	1	15.94**	3.96**	29.61**	16917.66**	47383.71**	2197.27**
	Goonbad گنبد	1	28.34**	1.47**	27.52**	28510.83**	44032.66**	1536.00**
fe1zn3-شاهد	Tehran تهران	1	4.39**	0.714**	6.68**	2339.59**	10685.04**	438.27**
	Goonbad گنبد	1	6.99**	1.833**	21.69**	8908.91**	34716.83**	496.86**
fe2zn1-شاهد	Tehran تهران	1	15.32**	8.906**	56.86**	41800.11**	90970.91**	2619.61**
	Goonbad گنبد	1	37.80**	1.773**	68.68**	36429.16**	109890.67**	1235.63**
fe2zn2-شاهد	Tehran تهران	1	20.46**	11.02**	55.57**	117656.007**	79718.43**	7018.52**
	Goonbad گنبد	1	69.22**	1.23**	110.51**	64979.226**	176816.66**	1686.73**
fe2zn3-شاهد	Tehran تهران	1	6.82**	0.952**	9.88**	4275.204**	15810.67**	696.17**
	Goonbad گنبد	1	14.66**	0.128^{ns}	7.24**	5352.106**	11580.83**	445.48**
fe3zn1-شاهد	Tehran تهران	1	0.020^{ns}	0.482**	3.37**	770.67*	5400*	173.34*
	Goonbad گنبد	1	1.717**	0.059^{ns}	2.03**	1066.67*	3248.026**	114.41**
fe3zn2-شاهد	Tehran تهران	1	0.018^{ns}	0.742**	5.80**	1176.00**	92082.66**	210.87*
	Goonbad گنبد	1	1.685**	0.096^{ns}	2.02**	2105.63**	3229.44**	235.62**
fe3zn3-شاهد	Tehran تهران	1	0.170^{ns}	0.002^{ns}	0.54^{ns}	196.77^{ns}	864^{ns}	21.13^{ns}
	Goonbad گنبد	1	1.306**	0.006^{ns}	0.45^{ns}	377.62^{ns}	726^{ns}	51.04*
شاهد-ترکیبات تیماری	Tehran تهران	1	8.99**	3.59**	26.48**	19678.55**	41386.34**	1864.3**
	Goonbad گنبد	1	25.58**	1.14**	33.74**	22143.01**	53978.04**	1096.1**

شاخص برداشت

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی و اثر متقابل محلول‌پاشی آهن و روی تأثیر معنی‌داری بر صفت شاخص برداشت داشتند (جدول ۳). برش‌دهی نشان داد که در مزرعه گنبد کاووس سطوح مختلف آهن و روی تاثیر معنی‌داری بر این صفت داشتند و در تهران تنها برای نانو کلات آهن ۱/۵ و ۴ بین سطوح مختلف روی اختلاف معنی‌دار مشاهده گردید (جدول ۵). در تیمار نانو کلات آهن ۴ در هزار بیش‌ترین مقدار شاخص برداشت نسبت به سطوح دیگر مشاهده شد و بین سطوح روی در این سطح آهن بیشترین شاخص برداشت به‌ترتیب مربوط به نانو کلات روی ۳ در هزار، نانو کلات روی ۱/۵ در هزار و کلات روی ۳ در هزار بود. به‌نظر می‌رسد که محلول‌پاشی نانو کلات آهن به میزان ۴ در هزار در مراحل رشد رویشی و زایشی سبب افزایش تولید ماده خشک در گیاه شده و به‌سبب آن میزان شاخص سطح برگ نیز از طریق انتقال مجدد

این مواد به اندام‌های رویشی و تولید سطح فتوسنتزکننده افزایش یافته است. مقایسات گروهی نشان داد از نظر صفت شاخص برداشت بین تمام ترکیبات تیماری با شاهد (به‌جز شاهد با ترکیب کلات آهن همراه کلات روی در مزرعه تهران) اختلاف معنی‌دار وجود دارد (جدول ۸). اردشیری و همکاران (Ardeshiri *et al*., 2017) افزایش شاخص برداشت در کلزا را طی کاربرد عناصر آهن و روی به‌صورت نانو نسبت به فرم معمول گزارش کردند.

نتیجه‌گیری

استفاده از کلات‌های آهن و روی به‌صورت نانو کلات نسبت به فرم معمول بیش‌ترین تاثیر را بر عملکرد و اجزای عملکرد در گیاه دارویی سیاه‌دانه داشتند و در بین غلظت‌های مورد بررسی نانو کلات آهن ۴ در هزار و نانو کلات روی ۳ در هزار بیش‌ترین مقدار عددی را در این صفات نشان دادند. به‌نظر می‌رسد با مصرف کود به‌صورت نانو کلات، جذب و انتقال مواد فتوسنتزی و هورمون‌های تحریک‌کننده رشد افزایش می‌یابد و مجموعه این عوامل سبب افزایش تعداد ساقه‌های جانبی و عملکرد می‌گردد. به‌طور کلی نتایج این آزمایش نشان داد سیاه‌دانه گیاهی است که به کمبود آهن و روی حساس بوده و کاربرد آهن و روی به‌صورت فرم نانو اثر بسیار مثبتی بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد دارد.

References

1. Abdelkader, M. A., Fatma, R. I., and Metwaly, E. E. 2019. Growth and productivity of fennel (*Foeniculum vulgare*) Plants as Affected by Phosphorus Rate and Nano-Micronutrients Concentration. Journal ournal of Plant Production 10 (7): 483- 488.
2. Aghdasi, S., Modarres-Sanavy, S. A., Agha Alikhani, M., and Keshavarz, H. 2018. The effect of dehydration and foliar application of Fe and Mn on some physiological and quantitative and qualitative traits of green mungbean forage (*Vigena radiate* L.). Journal of Plant Process and Function 7: 101-115. (in Persian).
3. Al-Juthery, H. W. A., Habeeb, K. H., Altaee, F. J. K., AL-Taey, D., and Al-Tawaha, M. 2018. Effect of foliar application of different sources of nanofertilizers on growth and yield of wheat. Bioscience Research 15 (4): 3988-3997.
4. Barua, D., and Saikia, M. 2018. Agronomic biofortification in rice varieties through zinc fertilization under aerobic condition. Indian Journal of Agricultural Research 52 (1): 89-92.
5. Davazdah Emami, S., and Majnoon Hoseini, N. 2003. Agriculture and production of some herbs and spices. University of Tehran Publications: 300.
6. El-Metwally, I. M., Doaa, M., Abo-Basha, R., and Abd El-Aziz, M. 2018. Response of peanut plants to different foliar applications of nano iron, manganese and zinc under sandy soil conditions. Middle East Journal of Applied Sciences 8 (2): 474-482.
7. Gomaa, M. A., Kandil, E. E., Amera, M., and Ibrahim, M. 2020. Response of maize to organic fertilization and some nano-micronutrients. Egyptian Academic Journal of Biological Sciences 11 (1): 13-20.
8. Hafez, B., Khanif, Y. M., and Saleem, M. 2013. Role of zinc in plant nutrition. American Journal of Experimental Agriculture 3: 374-391.
9. Hayyawi, W., Al-juthery, A., Abdulkareem, H., Fadhil, K., Radhi, F., Hussein, M., and Khaeim, M. 2019. The response of wheat to foliar application of nano micro nutrients. Plant Archives 19: 827-831.
10. Izadi, Y., and Modares-sanavi, S. A. M. 2018. Effect of nano iron and manganese fertilizers on mung bean growth and yield in water deficit stress condition. Iranian Journal of Field Crops Research 16 (3): 651-664. (in Persian).
11. Jam, A., Ebadi, A., and Parmon, G. 2015. The role of iron and zinc on tuber yield and yield components of potato. Journal of Crop Ecophysiology 7: 177-190. (in Persian).
12. Kopittke, P. M., Lombi, E., Wang, P., Schjoerring, J., and Husted, S. 2019. Nanomaterials as fertilizers for improving plant mineral nutrition and environmental outcomes. Environmental Science 6: 3513-3524.
13. Monica, R. C., and Cremonini, R. 2009. Nanoparticles and Higher Plants. International Journal of Cytology, Cytosystematics and Cytogenetics 62: 161-65.
14. Morovat, G., Pasari, B., and Rokhzadi, A. 2019. Effect of Pluramin and iron and zinc nano-fertilizer on rainfed chickpea (*Cicer arietinum* L.) at on-farm conditions 20 (2): 647-656.
15. Rameshraddy, P. G. J., Mahesh, S., Geetha, K. N., and Shankar, A. G. 2019 Seed priming and foliar spray with nano zinc improves stress adaptability and seed zinc content without compromising seed yield in ragi (Finger millet). International Journal of Pure Applied Bioscience 5 (3): 251-258.
16. Ramroudi, M., Keikhajaleh, M., Golvi, M., Seghateslami, M. J., and Baradaran, R. 2011. Effect of micronutrient soluble irrigation and irrigation regimes on quantitative and qualitative yield of psyllium. Journal of Agricultural Ecology 3: 226-219.
17. Rezaee chapane, A., Salmasi, S., Pirzad, A. R., and Rahimi, A. 2015. Effect of foliar application of iron, zinc and mn on nutrients, yield components and seed oil *calendula officinalis* L. Journal of Horticultural Science 102: 29-52. (in Persian).

18. Seyed Jamal, Z. A., Astaraei, R., and Emami, H. 2014. The effect of humic acid and compost on the absorption of some micronutrients in basil (*Ocimum basilicum* L.). First National Conference on Sustainable Farming of Medicinal Plants: 1-8.
19. Sher, A., Naveed, Kh., Ahmad,G., and Khan, A. 2020. Grain zinc and iron enrichment through foliar application augments wheat yield under varying nitrogen regimes. Pakistan Journal of Botany 52 (1): 85-94.
20. Sudhagar, G. B., Immanuel, R., Ramesh, S., Baradhan, G., and Sureshkumar, S. M. 2019. Effect of zinc and iron fertilizartion on growth and development of rice. Plant Archives 19: 1877-1880.
21. Yarnell, E., and Abascal, K. 2011. *Nigella sativa* holy herb of the middle east. Alternative and Complementary Therapy 17: 99-105.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 18, No. 3, Fall. 2020, p. 267-278

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۸، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص. ۲۷۸-۲۶۷

Effect of Iron and Zinc Nano Chelates on Yield and Yield Components of Black Cumin Medicinal Plant (*Nigella sativa* L.)

S. H. Davoodi[1*], A. Biyabani[2], A. Rahemi karizaki[3], S. A. M. Modares sanavi[4], E. Gholamalipour Alamdari[5], M. Zaree[6]

Received: 13-01-2020
Accepted: 06-06-2020

Introduction

The black seed is scientifically known as *Nigella sativa* L. from the family Ranunculaceae, which is susceptible to deficiencies in micro elements, including iron and poor soils. The concentration of Fe and Zn in soil solution is usually very low and is mostly mixed with organic matter. The solubility of Zn and Fe is strongly dependent on soil acidity. Managing nutrient intake can improve plant growth and product quality. Inappropriate nutrient management in today's common practice results in degraded agricultural ecosystems and endangered human health, and these problems have necessitated rethinking ways to increase crop production. Rezaei *et al*. (2016) reported increasing yield traits in stevia plant through using nano iron and zinc and manganese solution. Foliar application of micronutrients can improve grain and oil yield by improving yield components. In the present study, the effect of iron and zinc nanoparticle foliar application on morphophysiological and phytochemical changes of black seed has been evaluated.

Materials and Methods

The experiment was carried out as a factorial experiment based on a randomized complete block design with three replications in the research field of Gonbade-Kavous University of Agriculture and Natural Resources University of Tarbiat Modares University in 2018-2019. Experimental treatments included control (no foliar application), iron nutrient (iron nano chelates at 1.5 and 4 in a thousand + 3 iron per thousand chelate) and zinc nutrient (zinc nano chelate at 1.5 and 3 in a thousand) and chelate (3 in a thousand) which was used as foliar application. Treatments were applied at 8-10 leaf stage and at the time of capsule filling. The experimental plots were two meters wide with four rows of 50 cm and the length of each plot was 6 m. There was a distance of one meter between each trial unit and a distance of 2 meters between each block. Midlines were used for sampling. Data were analyzed using SAS ver 9.3 statistical software and LSD test was performed at 5% level.

Results and Discussion

The results showed that the studied traits such as plant height, number of lateral branch, number of pods per plant, number of seed per pods, seed weight per pods, capsule diameter, 1000-seedweight, yield seed, biologicalyield and harvestindex were affected by main effects and interactions of the treatment compounds in Tehran and Goonbade-Kavus fields. Application of iron and zinc chelates in the form of nano-chelates had the highest effect on yield and yield components of the black-seeded medicinal plant in comparison to the chelate form. Maximum grain yield (217.44 $g.m^{-2}$ in Goonbade-kavus and 288.66 $g.m^{-2}$ in Tehran), biological yield (582 $g.m^{-2}$ in Goonbade-kavus and 352.93 $g.m^{-2}$ in Tehran) and harvest index (37.43% in Goonbade-kavus and 76.467% in Tehran) were observed in the nano-treatment of iron chelate 4 per thousand and the lowest value of seedyield (25.2 $g.m^{-2}$ in Goonbade-kavus and 20.05 $g.m^{-2}$ in Tehran), biological yield (260.67 $g.m^{-2}$ in Goonbade-kavus and 130.67 $g.m^{-2}$ in Tehran) and harvest index (25.2% in Goonbade-kavus and 11.81% in Tehran) were observed in iron and zinc chelates.

Conclusions

Based on the results obtained and considering the different measured properties, the application of iron and zinc in the form of nano will have a positive effect on the quantitative performance of black seed. given the role of micronutrients in some enzymes and their effective role in protein synthesis, this increase in yield can be justified compared to control.

Keywords: Micro element, Medicinal Plant, Nano chelate, Yield components

1- Ph.D Student of Plant Physiology, Gonbad University
2- Associate Professor, Department of Plant Production, Gonbad University
3- Assistant Professor, Department of Plant Production, Gonbad University
4- Associate Professor, Department of Plant Production, Tarbiat Modares University, Tehran
5- Assistant Professor, Department of Plant Production, Gonbad University
6- Assistant Professor, Department of Plant Production, Gonbad University
(*- Corresponding Author Email: davoodi.f@yahoo.com)